

不同高粱品种对山西陈醋酿造品质的影响研究

逯张禹¹,张钰婧¹,柳青山²,白文斌²,高振峰¹,许 女^{1*}

(1.山西农业大学 山西省食醋酿造技术创新中心,山西 晋中 030801;2.山西农业大学 高粱研究所,山西 晋中 030600)

摘要:该研究对晋杂51号(梗高粱)与晋糯3号(糯高粱)的理化指标进行检测后分别酿造山西陈醋,采用常规检测方法、高效液相色谱(HPLC)及顶空固相微萃取-气相色谱-质谱(HS-SPME-GC-MS)对其酿造过程中的理化指标与风味物质进行测定,考察不同高粱品种对山西陈醋酿造品质的影响。结果表明,两种高粱理化指标存在一定差异,相较于晋杂51号,晋糯3号水分和支链淀粉含量显著较高($P<0.05$),而脂肪、单宁和直链淀粉含量显著较低($P<0.05$);晋糯3号表现出更优的发酵特性,其新淋醋中总酸(6.60 g/100 mL)、不挥发性酸(2.08 g/100 mL)、总酯(3.04 g/100 mL)及川芎嗪(36.27 mg/L)含量显著较高($P<0.05$),而还原糖(1.70 g/100 mL)和总黄酮(86.75 mg/100 mL)显著较低($P<0.05$)。晋糯3号新淋醋(4.26 g/100 mL)中的有机酸总量比晋杂51号高20.99%,且乙酸、乳酸和琥珀酸增幅明显;晋糯3号新淋醋中挥发性风味物质以酯类物质为主,而晋杂51号以醇类和酚类物质为主。

关键词:高粱品种;山西陈醋;理化指标;风味物质

中图分类号:TS264.2

文章编号:0254-5071(2026)01-0210-06

doi:10.11882/j.issn.0254-5071.2026.01.028

引文格式:逯张禹,张钰婧,柳青山,等.不同高粱品种对山西陈醋酿造品质的影响研究[J].中国酿造,2026,45(1):210-215.

Effects of different sorghum varieties on the brewing quality of Shanxi aged vinegar

LU Zhangyu¹, ZHANG Yujing¹, LIU Qingshan², BAI Wenbin², GAO Zhenfeng¹, XU Nv^{1*}

(1. Shanxi Province Vinegar Brewing Technology Innovation Center, Shanxi Agricultural University, Jinzhong 030801, China;

2. Sorghum Research Institute, Shanxi Agricultural University, Jinzhong 030600, China)

Abstract: The physicochemical indexes of Jinza 51# (japonica sorghum) and Jinnuo 3# (waxy sorghum) were investigated, and then were used to brew Shanxi aged vinegar, respectively. The physicochemical indexes and flavor compounds were detected by conventional detection methods, high-performance liquid chromatography (HPLC), and headspace solid-phase microextraction coupled with gas chromatography-mass spectrometry (HS-SPME-GC-MS) during the brewing process, and the effects of different sorghum varieties on the brewing quality of Shanxi aged vinegar were investigated. The results showed that there were certain differences in the physicochemical indexes between the two sorghum varieties. Compared with Jinza 51#, the Jinnuo 3# exhibited significantly higher contents of moisture and amylopectin ($P<0.05$), while displaying significantly lower contents of fat, tannin and amylose ($P<0.05$). Jinnuo 3# demonstrated superior fermentation characteristics, with significantly higher contents of total acid (6.60 g/100 ml), non-volatile acid (2.08 g/100 ml), total ester (3.04 g/100 ml), and tetramethylpyrazine (36.27 mg/l) in the newly leached vinegar ($P<0.05$). In contrast, the contents of reducing sugar (1.70 g/100 ml) and total flavonoids (86.75 mg/100 ml) were significantly lower ($P<0.05$). The total organic acid content in newly leached vinegar brewed with Jinnuo 3# (4.26 g/100 ml) was 20.99% higher than that in newly leached vinegar brewed with Jinza 51#, with notable increases in acetic acid, lactic acid and succinic acid. The volatile flavor compounds in newly leached vinegar brewed with Jinnuo 3# were predominantly esters, whereas alcohols and phenols were the major volatile components in newly leached vinegar brewed with Jinza 51#.

Key words: sorghum variety; Shanxi aged vinegar; physicochemical index; flavor components

山西陈醋作为中国传统固态发酵食醋的典型代表,兼具饮食文化传承、独特风味与功能性有机酸组分的保健价值^[1-2],其以本土高粱为主要原料,经传统工艺酿造,形成黑紫色泽、绵柔酸香及耐贮存特性^[3]。高粱作为核心原料,其组分差异对产品具有决定性影响,其中淀粉直接影响食醋的出品率;蛋白质是食醋中氨基酸态氮的物质基础;单宁作为山西老陈醋的骨架成分,直接影响着山西老陈醋口感

和香气^[4-5]。因此,高粱品种筛选是品质调控的首要环节。

目前研究聚焦于高粱品种对最终产品理化指标及感官特性的影响。赵红年等^[6]采用7个高粱品种进行食醋酿造试验,发现晋杂18号、晋杂23号出品率分别达8.83%与8.78%,适用于工业化量产;晋糯3号则总酯及特征风味物质含量高,更适配高端醋酿造;郭旭凯等^[7]研究表明,糯高粱较传统梗高粱出醋率提高3.2%,且在还原糖、总酯积累及绵甜

收稿日期:2025-05-06

修回日期:2025-09-28

基金项目:山西省重点研发计划(重点)项目(202202130501011);国家谷子高粱产业技术体系项目(CARS-06-14.5-A30);山西省现代农业产业技术体系项目(2025CYJSTX03-33)

作者简介:逯张禹(1984-),男,助理研究员,研究方向为农产品加工。

*通讯作者:许 女(1979-),女,教授,博士,研究方向为传统酿造食品机理与应用技术。

口感方面表现优异;而粳高粱在氨基酸态氮、不挥发酸及总黄酮含量上更具优势。然而,关于高粱品种对酿造过程中理化指标和风味物质代谢的影响鲜见报道。

本研究以晋杂51号(粳高粱)与晋糯3号(糯高粱)为研究对象,通过常规检测方法对其理化指标进行检测,并分别以这两种高粱为原料进行山西陈醋的酿造。通过常规检测方法分析发酵过程理化指标的动态变化,通过高效液相色谱法(high performance liquid chromatography, HPLC)和顶空固相微萃取-气相色谱-质谱法(headspace solid-phase microextraction-gas chromatography-mass spectrometry, HS-SPME-GC-MS)检测发酵过程以及新淋醋的挥发性风味物质,从多角度探讨不同高粱品种对山西陈醋酿造品质的影响,以期为解析晋杂51号与晋糯3号的酿造特性提供数据支撑,为醋企选用酿醋高粱品种提供参考。

1 材料与方法

1.1 材料与试剂

晋杂51号(粳高粱)、晋糯3号(糯高粱):实验室选育栽培品种;大曲:山西老陈醋股份有限公司;谷糠:文水县农盛贸易有限公司;耐高温 α -淀粉酶(20 000 U/mL)、葡糖淀粉酶(100 000 U/mL):山东隆科特酶制剂有限公司;硫酸铜、亚甲基蓝(均为分析纯):天津欧博凯化工有限公司;叔戊醇、乙酸正戊酯、2-乙基丁酸(均为色谱纯):北京北灵威科技有限公司。

1.2 仪器及设备

PB-21酸度计:赛多利斯科学仪器(北京)有限公司;戴安U3000高效液相色谱仪、Trace1300气相色谱仪、TraceISQ质谱分析仪:赛默飞世尔科技(中国)有限公司;Eppendorf离心机:艾本德(中国)有限公司。

1.3 方法

1.3.1 高粱籽粒理化指标的测定

将高粱粉碎至70目,参考GB 5009.3—2016《食品中水分的测定》^[9]测定水分含量;参考GB 5009.5—2016《食品安全国家标准 食品中蛋白质的测定》^[9]测定蛋白质含量;参考GB 5009.6—2016《食品安全国家标准 食品中脂肪的测定》^[10]测定脂肪含量;参考GB/T 15686—2008《高粱 单宁含量的测定》^[11]测定单宁含量;参照GB 5009.9—2023《食品安全国家标准 食品中淀粉的测定》^[12]测定总淀粉含量;参照GB/T 15683—2008《大米直链淀粉含量的测定》^[13]测定直链淀粉和支链淀粉含量。

1.3.2 山西陈醋的酿造工艺

水、耐高温 α -淀粉酶、葡糖淀粉酶 麸皮、谷糠、火醋
↓
高粱→粉碎→液化糖化→酒精发酵→醋酸发酵→熏醋→淋醋→陈酿→成品
↑
大曲

操作要点:将高粱粉碎至40目和70目,按照1:1比例加

150 kg高粱至糖化罐,加水至700 kg,加热升温至85℃,加入150 g耐高温 α -淀粉酶,保温15 min,继续升温至90℃,保温20 min,然后打开冷却装置降温至60℃,再加入150 g葡糖淀粉酶,保温20 min,降温至30℃出锅,拌入90 kg的大曲,搅拌均匀后移到酒精发酵缸中,酒精发酵9 d(敞口发酵3 d,封口发酵6 d)。酒精发酵结束后,加入180 kg麸皮和102 kg谷糠,搅拌均匀,移到醋酸发酵缸中,按照高粱质量加入10%火醋(上一批发酵第2天的醋醅),醋酸发酵10 d。按照高粱质量加入10%食盐,停止发酵,经熏醋、淋醋环节得新淋醋^[14]。

按照上述工艺流程,分别以晋杂51号和晋糯3号为主要原料进行山西陈醋的酿造。

1.3.3 样品采集

分别在酒精发酵第0、1、2、3、5、7、9天从3个酒精发酵缸内共采集约300 mL的酒醅样品,于灭菌广口瓶中均匀混合,编号分别为J0、J1、J2、J3、J5、J7、J9;分别在醋酸发酵第0、1、3、5、7、9、10天从3个醋酸发酵缸中,距醋醅表面30 cm处,共采集约300 g刚完成翻醅的醋醅样品于无菌自封袋中混匀,编号分别为C0、C1、C3、C5、C7、C9、C10;将上述样品及新淋醋样品存放于-80℃保存。

1.3.4 酒醅、醋醅及新淋醋指标的测定

理化指标的测定:参考国标GB/T19777—2013《地理标志产品山西老陈醋》^[15]测定总酸、氨基酸态氮、总酯、还原糖、不挥发性酸、可溶性固形物、黄酮和川芎嗪含量;参考GB/T 5009.48—2003《蒸馏酒及配制酒卫生标准的分析方法》^[16]中的比重计法测定酒精度。

有机酸的测定:参考文献[17]中的高效液相色谱法进行测定。

挥发性风味物质的测定:参考文献[18]中的HS-SPME-GC-MS法进行测定。

1.3.5 数据处理

所有样品均进行3次重复测定,数据以“平均值±标准偏差”来表示,利用Origin 2022、Excel 2016作图,采用SPSS 29.0.2.0软件进行差异显著性检验。

2 结果与分析

2.1 两种高粱籽粒理化指标的对比分析

高粱籽粒中的水分、蛋白质、脂肪、单宁及淀粉含量对其贮藏、加工及酿造过程至关重要。水分含量直接影响高粱的贮藏稳定性和加工性能^[9];蛋白质作为微生物繁殖必需的氮源,在发酵过程中可转化为高级醇、醛、酮等多种风味物质;脂肪分解产生的脂肪酸和有机酸可作为风味化合物的前体,并进一步生成醛类、酮类等物质;适量的单宁能抑制杂菌生长,并转化为丁香酸、阿魏酸等风味前体物质^[4];淀粉含量直接决定出酒率,但过高的直链淀粉比例易引发淀粉回生,导致蒸煮后物料老化,降低微生物对营养物质

的利用率^[20]。因此,测定两种高粱(晋糯3号与晋杂51号)籽粒的理化指标,结果见表1。

表1 两种高粱籽粒的理化指标对比分析

Table 1 Comparative analysis of physicochemical indicators of two sorghum grains

指标	晋杂51号	晋糯3号
水分含量/%	11.51±0.96b	14.32±0.90a
蛋白质含量/(g·100 g ⁻¹)	9.49±0.54a	9.56±0.21a
脂肪含量/(g·100 g ⁻¹)	3.76±0.12a	3.32±0.09b
单宁含量/%	0.84±0.02a	0.62±0.01b
淀粉含量/%	63.20±1.08a	67.89±0.86a
直链淀粉含量/%	15.12±0.72a	5.32±0.18b
支链淀粉含量/%	46.23±3.12b	59.64±3.52a

注:同行不同小写字母表示差异显著($P<0.05$)。下同。

由表1可知,两种高粱籽粒的水分含量均符合GB/T

8231—2024《高粱》要求($\leq 14%$)^[21],但晋糯3号的水分含量显著高于晋杂51号($P<0.05$);此外,两种高粱籽粒除蛋白质及淀粉含量无显著差异外($P>0.05$),晋杂51号的脂肪含量(3.76 g/100 g)、单宁含量(0.84%)、直链淀粉含量(15.12%)均显著高于晋糯3号($P<0.05$),而支链淀粉含量(15.12%)显著低于晋糯3号(59.64%)($P<0.05$)。综上,晋糯3号与晋杂51号在水分、脂肪、单宁及直/支链淀粉含量上存在显著差异,其中,晋糯3号具有较高的水分和支链淀粉含量,晋杂51号具有较高的脂肪、单宁及直链淀粉含量。这些成分差异将影响食醋酿造过程中的代谢产物以及最终产品的品质。

2.2 高粱品种对山西陈醋酿造过程中理化指标的影响

2.2.1 高粱品种对山西陈醋发酵过程中理化指标的影响

山西陈醋发酵过程中酒醪和醋醅理化指标的变化见图1。由图1可知,不同高粱在发酵过程中理化指标变化趋势相同。

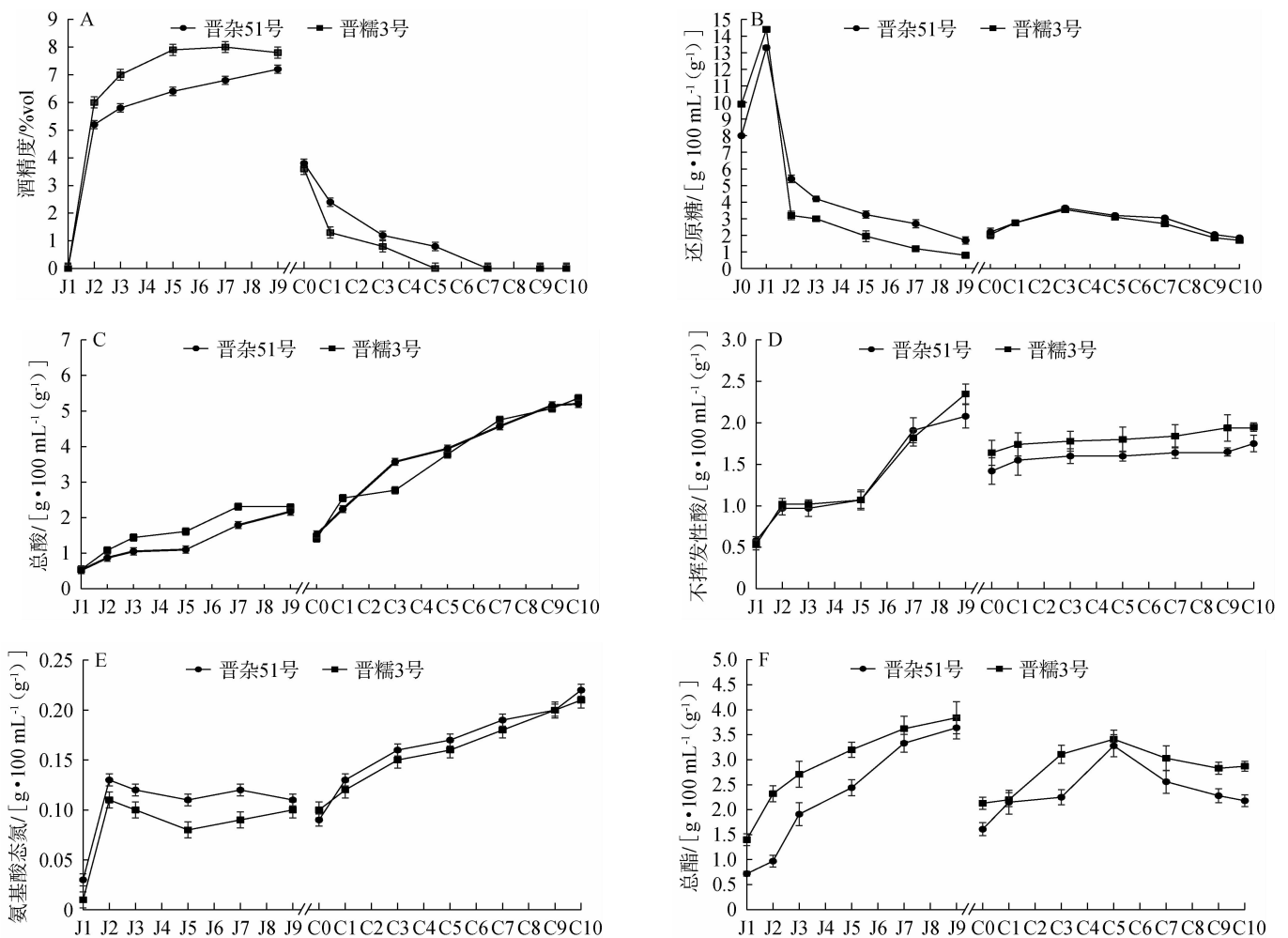


图1 高粱品种对山西陈醋酿造过程中理化指标的影响

Fig. 1 Effects of sorghum varieties on physicochemical indicators during the brewing process of Shanxi aged vinegar

由图1A可知,在酒精发酵阶段,酒醪酒精度呈上升趋势,发酵1~2 d,酒精度急剧上升,随后上升速度减缓,发

酵结束时,晋杂51号组和晋糯3号组的酒醪酒精度分别为7.20%vol、7.80%vol;在醋酸发酵阶段,醋醅酒精度呈下降

趋势,两组醋醅酒精度分别在第5天和第7天降至0。整个发酵过程中,晋糯3号组酒精度整体高于晋杂51号组,这与刘霄等^[22]的研究结果一致,即糯高粱原料出酒率更高。这是因为晋糯3号支链淀粉含量更高,更易糊化,微生物可将其分解为更多葡萄糖,进而高效发酵产乙醇;此外,晋杂51号的单宁含量高于晋糯3号,而高单宁含量已被证实会抑制发酵过程中微生物的活性^[23]。

由图1B可知,酒精发酵和醋酸发酵阶段,还原糖含量均呈现先上升后下降的趋势。酒精发酵第1天,酒醪的还原糖含量达到峰值,晋杂51号组和晋糯3号组还原糖含量分别为13.30 g/100 mL、14.40 g/100 mL,随后,酵母菌活跃代谢消耗糖分转化为乙醇,同时糖化酶活性丧失无法补充新还原糖,还原糖含量快速降低;进入醋酸发酵阶段,麸皮和谷糠的加入使醋醅还原糖含量上升,在发酵第3天达到峰值,晋杂51号组和晋糯3号组还原糖含量分别为3.65 g/100 g、3.55 g/100 g,随着发酵的进行,微生物生长活动消耗还原糖,酸度上升,抑制淀粉酶活性,淀粉分解转化速率降低,使得还原糖含量呈现下降趋势^[24]。

由图1C和图1D可知,整个发酵阶段,总酸和不挥发性酸含量均呈上升趋势,醋酸发酵结束,晋杂51号组和晋糯3号组醋醅的总酸含量分别为5.20 g/100 g、5.36 g/100 g,晋杂51号组和晋糯3号组醋醅的不挥发酸含量分别为1.75 g/100 g、1.95 g/100 g,晋糯3号醋醅的不挥发性酸高于晋杂51号,这是因为晋糯3号中支链淀粉结构更易被微生物利用,从而促进乳酸等不挥发性酸的合成代谢。

由图1E可知,酒精发酵1~2 d,氨基酸态氮含量急剧上升,随后保持稳定,酒醪氨基酸态氮含量稳定在0.08~0.12 g/100 g;进入醋酸发酵阶段,氨基酸态氮含量持续上升,尤其在发酵前3 d增长速率较快,醋酸发酵结束时,晋杂51号组和晋糯3号组醋醅氨基酸态氮含量分别为0.22 g/100 g、0.21 g/100 g,无明显差异。

由图1F可知,酒精发酵阶段,酒醪总酯含量持续上升,晋糯3号组酒醪中总酯含量整体高于晋杂51号组酒醪,发酵结束时,晋杂51号组和晋糯3号组酒醪总酯含量分别为3.64 g/100 mL、3.84 g/100 mL。醋酸发酵阶段,醋醅总酯含量呈先上升后下降趋势,晋糯3号组醋醅总酯含量整体高于晋杂51号醋醅,醋酸发酵结束时,晋杂51号和晋糯3号醋醅总酯含量分别为2.18 g/100 g、2.87 g/100 g。

综上,在山西陈醋发酵过程中,不同高粱品种对发酵进程及产物形成具有明显影响。晋糯3号因其高支链淀粉、低单宁的特性,促进了酒精、酸类和酯类的生成,同时有利于乳酸等不挥发性酸的合成;而晋杂51号因高单宁含量,在发酵效率及产物积累上均处于劣势。

2.2.2 高粱品种对新淋醋理化指标的影响

高粱品种对新淋醋理化指标的影响见表2。由表2可知,

不同品种高粱酿造的新淋醋中总酸、不挥发性酸、总酯、还原糖、还原糖和川芎嗪含量存在显著差异($P < 0.05$)。晋糯3号酿造的新淋醋总酸、不挥发性酸、总酯、可溶性固形物及川芎嗪含量均较高,其含量分别为6.60 g/100 mL、2.08 g/100 mL、3.04 g/100 mL、15.70 g/100 mL、36.27 mg/L,较晋杂51号酿造新淋醋分别提高了12.25%、19.54%、17.83%、16.30%、49.01%;晋杂51号酿造的新淋醋还原糖、总黄酮含量较高,其含量分别为1.85 g/100 mL、104.26 mg/100 mL,较晋糯3号酿造新淋醋分别提高8.82%、20.18%。此外,在晋杂51号和晋糯3号酿造新淋醋中氨基酸态氮和可溶性固形物含量无显著差异($P > 0.05$)。综上,晋糯3号更有利于提升山西陈醋的风味复杂度,而晋杂51号则在还原糖保留方面具有优势。这种差异源于两者淀粉结构及代谢途径的差异,为山西陈醋酿造原料选择提供了科学依据。

表2 不同高粱品种酿造新淋醋理化指标的测定结果

Table 2 Determination results of the physicochemical indicators of the newly leached vinegar brewed with different sorghum varieties

项目	晋杂51号组	晋糯3号组
总酸含量/(g·100 mL ⁻¹)	5.88±0.03b	6.60±0.02a
不挥发性酸含量/(g·100 mL ⁻¹)	1.74±0.02b	2.08±0.03a
氨基酸态氮含量/(g·100 mL ⁻¹)	0.25±0.02a	0.30±0.02a
总酯含量/(g·100 mL ⁻¹)	2.58±0.02b	3.04±0.02a
还原糖含量/(g·100 mL ⁻¹)	1.85±0.01a	1.70±0.02b
可溶性固形物含量/(g·100 mL ⁻¹)	13.50±0.04a	15.70±0.05a
总黄酮含量/(mg·100 mL ⁻¹)	104.26±0.75a	86.75±0.72b
川芎嗪含量/(mg·L ⁻¹)	24.34±0.77b	36.27±0.67a

2.3 高粱品种对山西陈醋酿造过程中风味物质的影响

2.3.1 高粱品种对山西陈醋酿造过程中有机酸的影响

有机酸作为食醋核心风味物质,在酒精发酵阶段具有调控酸度、抑制杂菌及呈味功能,其主体积累于醋酸发酵阶段^[24-25]。高粱品种对山西陈醋不同生产阶段有机酸生成的影响见图2。由图2可知,酒精发酵结束时,晋杂51号组与晋糯3号组酒醪有机酸总量分别为1.53 g/100 mL和1.89 g/100 mL,其中乳酸占比最高且在晋糯3号组含量较高。这是由于晋糯3号高支链淀粉结构,能被糖化酶高效水解为葡萄糖和麦芽糖,为乳杆菌属(*Lactobacillus*)等产酸菌提供充足碳源,乳酸积累量与乳杆菌属丰度呈显著正相关^[26]。醋酸发酵结束时,晋杂51号组与晋糯3号组醋醅有机酸总量分别达2.21 g/100 g和2.48 g/100 g,乙酸和乳酸为主要成分。在两种高粱酿造的新淋醋中,晋糯3号组有机酸总量较高(4.26 g/100 mL),相较于晋杂51号组新淋醋,有机酸总量提高20.99%,其中乙酸、乳酸和琥珀酸分别增加14.41%、47.69%、65.50%。这些有机酸分别赋予食醋刺激性酸味、酸甜味和酸咸味,显著丰富了产品风味层次。

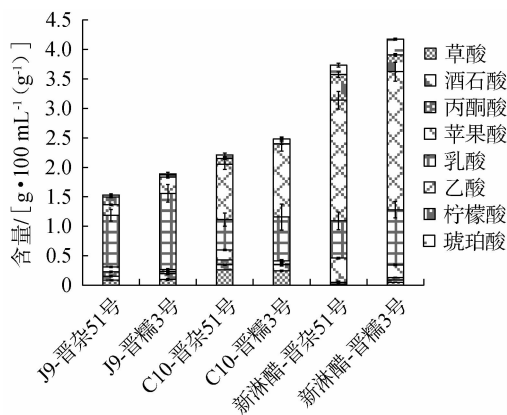


图2 高粱品种对山西陈醋酿造过程中有机酸的影响

Fig. 2 Effects of sorghum varieties on organic acids during the brewing process of Shanxi aged vinegar

2.3.2 高粱品种对山西陈醋酿造过程挥发性风味物质的影响

采用GC-MS从山西陈醋生产过程中共检出82种挥发性风味物质,包括酯类28种、醇类14种、酸类14种、醛类12种、酮类10种及其他类4种。其中不同样品间共有且具有特征性的31种关键挥发性香气成分呈现明显的分布规律,这些成分的热图可视化结果见图3。

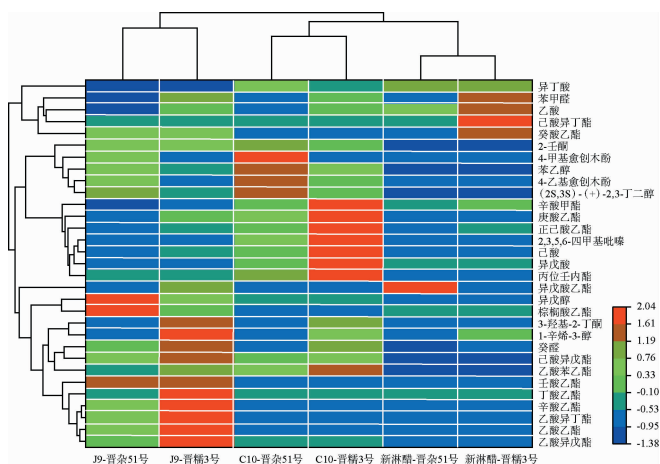


图3 高粱品种对山西陈醋酿造过程中挥发性风味物质的影响

Fig. 3 Effects of sorghum varieties on volatile flavor compounds during the brewing process of Shanxi aged vinegar

由图3可知,晋杂51号组和晋糯3号组的酒醪、醋醅和新淋醋样品在聚类分析中各聚为一支,显示出明显的品种特异性。酒精发酵结束后酒醪样品中的挥发性风味物质以酯类和醇类为主,且呈现出显著的原料品种依赖性差异。晋糯3号组酒醪中乙酸乙酯、乙酸异戊酯等典型酯类物质含量明显高于晋杂51号组,这些酯类物质主要赋予酒醪清新怡人的花果香香气^[27];而晋杂51号组酒醪中则富含异戊醇、苯乙醇及(2S,3S)-(+)-2,3-丁二醇等醇类物质,其中苯乙醇作为一种重要的芳香醇,主要来源于酒精发酵过程中

苯丙氨酸的微生物降解代谢途径,是酵母菌次级代谢的典型产物,该物质具有独特的丁香、蜂蜜味及浓郁的玫瑰气息,其在酒醪中的大量积累为后续食醋产品带来优雅的玫瑰香气奠定了物质基础^[28]。进一步对两种高粱醋醅发酵结束后的醋醅样品进行挥发性风味物质分析,发现晋糯3号组醋醅中辛酸甲酯、庚酸乙酯、正己酸乙酯、丙位壬内酯、异戊酸、己酸等物质的含量明显较高,这些物质共同构成了其特有的酯香特征;而晋杂51号组醋醅则富含4-乙基愈创木酚等酚类物质,这类成分能够赋予醋醅独特的烟熏香和草药香^[29]。相关研究表明,硬高粱酿造的小曲白酒中酚类物质含量普遍高于糯高粱小曲白酒,而糯高粱小曲白酒中乙酸乙酯、乳酸乙酯等特征性物质的含量则显著高于硬高粱小曲白酒^[30],这一发现与本研究的结果高度吻合。最后,对两种高粱发酵新淋醋中的挥发性风味物质进行系统比较,结果显示,晋糯3号组新淋醋中己酸异丁酯的含量较为突出,而晋杂51号组新淋醋则以异戊酸乙酯的含量优势为特征。

综上,不同高粱品种在山西陈醋酿造过程中所呈现的挥发性风味物质特征具有明显差异。晋糯3号在酒醪、醋醅及新淋醋阶段均表现出以酯类物质为主导的香气特征,这些酯类物质不仅赋予了花果香,还进一步丰富了香气层次;晋杂51号则以醇类和酚类物质为特色,其酒醪中的苯乙醇等芳香醇为后续食醋产品奠定了优雅的玫瑰香气基础,而醋醅中的4-乙基愈创木酚等酚类物质则赋予了产品独特的烟熏香和草药香。

3 结论

本研究系统比较晋糯3号(糯高粱)与晋杂51号(硬高粱)对山西陈醋酿造品质的影响。晋糯3号水分和支链淀粉显著高于晋杂51号($P < 0.05$),而后者脂肪、单宁及直链淀粉含量显著更高($P < 0.05$)。晋糯3号组表现出更优的发酵特性,其因高支链淀粉、低单宁特性,显著促进酒精、总酸、总酯、不挥发性酸和川芎嗪的生成,其中有机酸总量较晋杂51号组提高20.99%,且乙酸、乳酸和琥珀酸增幅尤为突出;晋杂51号则因高单宁抑制微生物活性,导致发酵效率及产物积累受限,但还原糖和总黄酮含量较高。晋糯3号在酒醪、醋醅及新淋醋中的挥发性风味物质以酯类(乙酸乙酯、辛酸甲酯、己酸异丁酯)为主,赋予产品花果香与酯香;晋杂51号则富集醇类(苯乙醇)和酚类(4-乙基愈创木酚),形成玫瑰香与烟熏草药香特征。本研究为山西老陈醋原料精准选配及工艺优化提供了科学依据。

参考文献:

[1] 向月华,唐蜜,刘鑫,等. 解读山西老陈醋的化学秘语[J]. 化学教育(中英文),2024,45(1):2-8.
[2] 夏维华. 特色调味品山西老陈醋对区域经济的影响及其加工工艺研究

- 现状[J]. 中国调味品, 2021, 46(11):191-194.
- [3] 武宇欣, 柴春祥. 山西水塔陈醋陈酿年份辨别技术研究[J]. 食品与发酵工业, 2025, 51(13):163-170.
- [4] 蒋英丽, 沈毅, 程伟, 等. 不同品种高粱应用于酱香型白酒的生产研究[J]. 食品与发酵工业, 2023, 49(13):93-99.
- [5] 王正. 高粱原料对白酒酿造微生物菌群演替及其风味代谢的影响[D]. 无锡: 江南大学, 2021.
- [6] 赵红年, 曹晋宜, 平俊爱, 等. 不同高粱品种对老陈醋品质的影响研究[J]. 中国酿造, 2016, 35(6):46-49.
- [7] 郭旭凯, 杨玲, 段冰, 等. 不同类型高粱与山西老陈醋酿造关系的研究[J]. 中国调味品, 2018, 43(10):70-73.
- [8] 中华人民共和国国家卫生和计划生育委员会. GB 5009.3—2016 食品中水分的测定[S]. 北京: 中国标准出版社, 2016.
- [9] 中华人民共和国国家卫生和计划生育委员会, 国家食品药品监督管理总局. GB 5009.5—2016 食品安全国家标准 食品中蛋白质的测定[S]. 北京: 中国标准出版社, 2016.
- [10] 中华人民共和国国家卫生和计划生育委员会, 国家食品药品监督管理总局. GB 5009.6—2016 食品安全国家标准 食品中脂肪的测定[S]. 北京: 中国标准出版社, 2016.
- [11] 全国粮油标准化技术委员会. GB/T 15686—2008 高粱 单宁含量的测定[S]. 北京: 中国标准出版社, 2008.
- [12] 中华人民共和国国家卫生和计划生育委员会, 国家食品药品监督管理总局. GB 5009.9—2023 食品安全国家标准 食品中淀粉的测定[S]. 北京: 中国标准出版社, 2023.
- [13] 全国粮油标准化技术委员会. GB/T 15683—2008 大米 直链淀粉含量的测定[S]. 北京: 中国标准出版社, 2008.
- [14] 郭宏萍. 优良菌株组合发酵对食醋大曲和酿造过程中的代谢调控[D]. 晋中: 山西农业大学, 2021.
- [15] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局, 中国国家标准化管理委员会. GB/T 19777—2013 地理标志产品 山西老陈醋[S]. 北京: 中国标准出版社, 2013.
- [16] 中华人民共和国卫生部中国国家标准化管理委员会. GB/T 5009.48—2003 蒸馏酒及配制酒卫生标准的分析法[S]. 北京: 中国标准出版社, 2003.
- [17] 孙列雄. 山西老陈醋核心菌群解析及与风味物质的相关性[D]. 晋中: 山西农业大学, 2020.
- [18] 马嘉艺, 黄浩伦, 刘孟春, 等. 醋酸发酵阶段添加不同类型高温大曲对食醋风味品质的影响[J]. 食品与发酵工业, 2024, 50(5):100-107.
- [19] 李媛媛, 邓杰, 郑若欣, 等. 两种高粱的酿造特性对比研究[J]. 食品研究与开发, 2020, 41(15):40-45.
- [20] 段冰, 杨玲, 郭旭凯, 等. 不同品种高粱的加工特性与利用研究[J]. 安徽农业科学, 2020, 48(1):193-195.
- [21] 国家市场监督管理总局 国家标准化管理委员会. GB/T 8231—2024 高粱[S]. 北京: 中国标准出版社, 2007.
- [22] 刘霄, 邓杰, 吴玲, 等. 粳高粱和糯高粱酿造的川法小曲白酒风味物质差异分析[J]. 食品安全质量检测学报, 2024, 15(7):20-27.
- [23] 叶封志, 吕高奇, 杨磊, 等. 优质酿酒高粱品种筛选研究[J]. 中国酿造, 2023, 42(5):139-144.
- [24] WU Y F, XIA M L, ZHAO N, et al. Metabolic profile of main organic acids and its regulatory mechanism in solid-state fermentation of Chinese cereal vinegar[J]. *Food Res Int*, 2021, 145: 10400.
- [25] 黄婷. 镇江香醋酿造微生物功能解析及酿醋人工菌群构建[D]. 无锡: 江南大学, 2022.
- [26] GUPTA R, NORONHA B S. Utilization of *Bacillus subtilis* cells displaying a glucose-tolerant β -glucosidase for whole-cell biocatalysis[J]. *Enzyme Microb Tech*, 2020, 132: 109-444.
- [27] 贾莹莹, 秦宇, 周景丽, 等. 基于UPLC-MS/MS分析山西陈醋与恒顺香醋的差异物质[J/OL]. 中国调味品, 1-9[2025-10-13]. <https://doi.org/10.3969/j.issn.1000-9973.2025.12.001>.
- [28] 蒋英丽, 沈毅, 程伟, 等. 不同品种高粱应用于酱香型白酒的生产研究[J]. 食品与发酵工业, 2023, 49(13):93-99.
- [29] 赵欣, 张钰婧, 陈旭峰, 等. 山西老陈醋酒精发酵和醋酸发酵过程中微生物菌群与挥发性风味成分相关性分析[J]. 食品工业科技, 2025, 46(11):194-204.
- [30] 孙细珍, 熊亚青, 杜佳炜, 等. 不同品种高粱小曲白酒感官表征及重要风味物质对比分析[J]. 食品与发酵工业, 2022, 48(9):34-40.